

## Beton Ringan dari Campuran *Styrofoam* dan Serbuk Gergaji dengan Semen *Portland* 250, 300 dan 350 kg/m<sup>3</sup>

R. Buyung Anugraha A<sup>1)</sup>, Sarithal Mustaza<sup>2)</sup>

1) Staf Pengajar Program Studi Diploma Teknik Sipil FTSP ITS, 2) Staf Kementrian PU Aceh  
[r\\_buyung\\_aa@ce.its.ac.id](mailto:r_buyung_aa@ce.its.ac.id)

### ABSTRAK

Salah satu bahan bangunan yang mengalami perkembangan sangat pesat hingga saat ini adalah beton. Beberapa keunggulan beton antara lain harganya relatif murah, mempunyai kekuatan tekan tinggi, tahan terhadap karat, mudah diangkut dan dicetak, dan relatif tahan terhadap kebakaran. Namun, beton memiliki salah satu kelemahan yaitu berat jenis yang sangat tinggi sehingga beban mati pada suatu struktur menjadi sangat besar. Ada beberapa cara yang dapat dipakai untuk membuat beton menjadi ringan antara lain penggunaan agregat ringan, beton dibuat berongga dan beton dibuat tanpa pasir. Penjabaran dari permasalahan tersebut diatas, maka dibuat suatu penelitian beton ringan dari campuran *styrofoam* dan serbuk gergaji, dimana limbah kayu tersebut belum dimanfaatkan secara optimal. Pada penelitian ini dibuat suatu campuran beton ringan dari bahan *styrofoam* dan bahan serbuk gergaji dengan menggunakan kandungan semen *portland* sebanyak 250, 300 dan 350 kg tiap m<sup>3</sup> beton. Adapun variasi perbandingan volume *styrofoam* dan serbuk gergaji adalah sebesar 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100% dengan kondisi perlakuan terhadap benda uji selama 28 hari direndam dan tidak direndam. Benda uji dibuat silinder beton dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Penelitian ini untuk mengetahui berat/m<sup>3</sup>, kuat tekan dan modulus elastisitas dari beton ringan yang dihasilkan. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa peningkatan penggunaan serbuk gergaji menyebabkan berat beton menjadi lebih berat, kuat tekan dan nilai modulus elastisitas meningkat. Sebaliknya, peningkatan penggunaan *styrofoam* menyebabkan berat beton menjadi lebih ringan, kuat tekan dan nilai modulus elastisitas menurun. Berat tertinggi beton ringan ini pada umur 28 hari kondisi tidak direndam adalah 875 kg/m<sup>3</sup> (0% *styrofoam* 100% serbuk gergaji), sedangkan yang terendah adalah 322 kg/m<sup>3</sup> (100% *styrofoam* 0% serbuk gergaji). Benda uji kondisi tidak direndam mempunyai nilai kuat tekan dan nilai modulus elastisitas yang lebih baik dari pada benda uji dengan kondisi direndam.

Kata kunci : beton ringan, *styrofoam* dan serbuk gergaji.

### 1. PENDAHULUAN

#### A. Latar Belakang

Salah satu bahan bangunan yang mengalami perkembangan sangat pesat hingga saat ini adalah beton. Beberapa keunggulan beton antara lain harganya relatif murah, mempunyai kekuatan tekan tinggi, tahan terhadap karat, mudah diangkut dan dibentuk dan relatif tahan terhadap kebakaran. Beton memiliki salah satu kelemahan yaitu berat jenisnya yang cukup tinggi sehingga beban mati struktur menjadi sangat besar.

Beberapa cara yang dapat dipakai untuk mengurangi berat beton seperti dengan penggunaan agregat ringan, beton dibuat berongga dan beton dibuat tanpa pasir. Satyarno (2004)[1] telah melakukan

penelitian penggunaan *styrofoam* untuk membuat beton ringan dengan menggunakan semen biasa atau tipe I. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton ini mempunyai berat yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan beton normal. Alternatif lain yang dapat menjadi pertimbangan untuk penelitian yaitu penggunaan serbuk gergaji (*saw dust*) sebagai pengganti pasir. Limbah kayu tersebut selama ini belum dimanfaatkan secara optimal. Beton ringan campuran *styrofoam*, serbuk gergaji dan semen *portland* ini diharapkan dapat digunakan untuk bahan bangunan selain penggunaan batu bata dan batako.

*Styrofoam* atau *expanded polystyrene* dikenal sebagai gabus putih yang biasa digunakan untuk membungkus barang elektronik. Jika dibentuk granular maka

berat satuannya menjadi sangat kecil yaitu hanya berkisar antara 13 - 16 kg/m<sup>3</sup>. Penggunaan *Styrofoam* dalam beton dapat dianggap sebagai udara yang terjebak. Namun, keuntungan menggunakan *styrofoam* dibandingkan menggunakan rongga udara dalam beton berongga adalah *styrofoam* mempunyai kekuatan tarik (Satyarno, 2004)[1]. Serbuk gergaji (*saw dust*) merupakan limbah penggergajian yang dapat menimbulkan masalah dalam pembuangannya.

## B. Tujuan Penelitian

Penelitian beton ringan dengan menggunakan *styrofoam*, serbuk gergaji dan semen *portland* bertujuan untuk :

1. Mengetahui sifat-sifat fisik dan mekanika beton ringan yang dihasilkan dengan menggunakan campuran antara *styrofoam*, serbuk gergaji dan semen portland yaitu besarnya kuat tekan beton dan modulus elastisitas dari beton ringan yang dihasilkan.
2. Mengetahui jumlah perbandingan yang tepat antara serbuk gergaji dan *styrofoam* untuk menghasilkan beton ringan dengan variasi jumlah semen portland sebesar 250 kg/m<sup>3</sup>, 300 kg/m<sup>3</sup> dan 350 kg/m<sup>3</sup>.
3. Mengetahui efek perendaman terhadap berat beton dan kuat tekan beton ringan dari campuran *styrofoam*, serbuk gergaji dan semen *portland*.

## C. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah menambah alternatif penggunaan material baru dalam pembuatan suatu beton ringan yang berupa campuran *styrofoam*, serbuk gergaji dan semen *portland*. Diharapkan bahan alternatif ini dapat digunakan untuk bahan bangunan selain penggunaan batu bata dan batako.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Beton ringan

Beton ringan menurut SNI 03-3449-1994 merupakan beton dengan berat beton di bawah 1860 kg/m<sup>3</sup> dan kuat tekan maksimumnya 41.360 Mpa[2]. Jenis-jenis beton ringan berdasarkan berat beton, kuat

tekan dan agregatnya penyusunnya menurut SNI 03-3449-1994[3] seperti tabel 1 berikut.

**Tabel 1.** Jenis-jenis beton ringan berdasarkan berat beton, kuat tekan dan agregat penyusunannya.

Konstruksi beton ringan	Beton ringan		Jenis agregat ringan
	Kuat tekan (MPa)	Berat beton (kg/m <sup>3</sup> )	
Struktural			
• Maksimum	41,360	1860	Agregat ringan dibuat melalui proses pemanasan dari batu serpih, lempung, sabakterak besi dan abu terbang
• Minimum	17,240	1400	
Struktural Ringan			
• Maksimum	17,240	1400	Agregat ringan lama: scoria atau batu apung
• Minimum	6,890	800	
Struktural Ringan Sangat Ringan Sebagai Isolasi			
• Maksimum	-	800	Perlit atau vermikulit
• Minimum	-	-	

Dobrowolski (1998)[4], beton ringan merupakan beton dengan berat dibawah 1900 kg/m<sup>3</sup> sedangkan Neville dan Brooks (1987)[5] memberikan batasan beton ringan yaitu beton dengan berat di bawah 1800 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabel 2.** Jenis-jenis beton ringan berdasarkan berat beton dan kuat tekannya Dobrowolski (1998)[4] dan Neville dan Brooks (1987) [5]

Sumber	Jenis beton ringan	Berat beton (kg/m <sup>3</sup> )	Kuat tekan (MPa)
Dobrowolski (1998)	Beton dengan berat jenis rendah ( <i>Low-Density Concretes</i> )	240-800	0,350-6,900
	Beton ringan dengan kekuatan menengah ( <i>Moderate-Strength Lightweight Concretes</i> )	800-1440	6,900-17,300
	Beton ringan struktural ( <i>Structural Lightweight Concretes</i> )	1440-1900	>17,300
Neville and Brooks (1987)	Beton ringan struktural ( <i>Structural Lightweight Concretes</i> )	1400-1800	>17,000
	Beton ringan untuk pasangan bata ( <i>Masonry Concrete</i> )	500-800	7,000-14,000
	Beton ringan penahan panas ( <i>Insulating Concrete</i> )	<800	0,700-7,000

Beton normal diperoleh dengan cara mencampurkan semen portland, air dan agregat, sedangkan untuk beton ringan bahan-bahan penyusunnya sangat tergantung pada jenis beton ringan tersebut. Menurut Raju (1983)[6] ada 3 jenis beton ringan yaitu beton agregat ringan, beton busa dan beton tanpa agregat halus. Hal senada juga disampaikan oleh Tjokrodinuljo (1996)[7], beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengurangi berat beton antara lain adalah sebagai berikut :

- 1) Dengan membuat gelembung-gelembung gas/udara dalam adukan semen.
- 2) Menggunakan agregat ringan, misalnya tanah liat bakar, batu apung atau agregat buatan.
- 3) Membuat beton tanpa menggunakan butir-butir agregat halus (beton non pasir).

Sambodo (2003)[8] melakukan penelitian membuat beton ringan dengan menggunakan *styrofoam* Ø 4mm campuran bahan beton *styrofoam* ringan yang digunakan untuk 1 m<sup>3</sup>nya: semen 350 kg per m<sup>3</sup>, pasir 200 kg per m<sup>3</sup>, faktor air semen yang digunakan 0,45 dan *styrofoam* yang digunakan 1m<sup>3</sup> atau 1000 liter.

Hasil pengujian diperoleh berat jenis *styrofoam* 0,0142 ton per m<sup>3</sup>, berat jenis beton *styrofoam* ringan 0,718 ton per m<sup>3</sup>. kuat tekan silinder beton pada umur 28 hari 1.519 MPa.

Satyarno (2004)[1], telah melakukan penelitian penggunaan *Styrofoam* untuk pembuatan beton ringan yang menggunakan semen biasa atau Tipe 1. Hasil penelitian yang didapat menunjukkan bahwa beton dengan campuran *styrofoam* ini dapat mempunyai berat jenis yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan beton normal. Jika beton normal mempunyai berat jenis sekitar 2400 kg/m<sup>3</sup>. maka beton dengan campuran *Styrofoam* dapat mempunyai berat jenis hanya sekitar 600 kg/m<sup>3</sup>. namun kuat tekan yang diperoleh juga lebih kecil yaitu sekitar 1.5 MPa sampai 2 MPa yang mana cukup kecil jika dibandingkan dengan kuat tekan beton normal yang sekitar 20 MPa.

Wijaya (2005)[9], Sabbihyah(2005) [10] dan Fatkhurohman (2005)[11], melakukan penelitian membuat beton ringan dengan menggunakan *styrofoam* Ø 2-3 mm. *Mix design* yang dibuat memang berdasarkan percobaan di laboratorium dengan cara diuji secara coba-coba dengan tujuan agar nilai sebarunya memenuhi syarat, ternyata pada *mix design* akhir mengalami perubahan pada faktor air semennya. Hal ini karena jumlah air adukan yang didapat berdasarkan *mix design* awal tidak mencukupi untuk membuat adukan yang baik karena bertambahnya jumlah pasir dalam setiap variasi adukan, maka dalam pelaksanaannya terdapat koreksi berupa penambahan jumlah air pada kelipatan sebesar 2,5% dari jumlah semen.

Dari penelitian tersebut juga didapat besarnya berat jenis, kuat tekan, modulus elastis sebagaimana terlihat pada tabel 3.

Untuk berat jenis semakin besar jumlah semen semakin besar berat jenis betonnya,

begitu juga untuk kuat tekan semakin besar jumlah semen maka semakin besar kuat tekannya. Untuk modulus elastis beton kecenderungannya tidak selalu demikian pada setiap penambahan semen, kecuali pada kandungan semen 350 kg dengan persentase *styrofoam* 20% dan 0%. Besarnya harga bahan per m<sup>3</sup> terbesar pada persentase *styrofoam* 80%. Untuk kandungan semen 250 kg/m<sup>3</sup>, 300 kg/m<sup>3</sup> dan 350 kg/m<sup>3</sup>.

Tabel 3. Hasil penelitian Wijaya, Sabbihyah dan Fatkhurohman (2005).

Kondisi Benda Uji	Variasi Perbandingan		Berat Beton Rerata (kg/m <sup>3</sup> )	Kuat Tekan Rerata (MPa)	Modulus Elastisitas Rerata (MPa)	Jumlah Harga Bahan Beton/m <sup>3</sup> (Rp.)
	Semen 250 kg/m <sup>3</sup>					
	Styrofoam	Pasir				
Semen 250 kg/m <sup>3</sup>						
Direndam	100% : 0%	391	0.206	42.062	532.754.00	
	80% : 20%	817	0.944	182.571	565.272.25	
	60% : 40%	1239	3.785	724.561	491.257.70	
	40% : 60%	1568	4.169	533.546	379.844.00	
	20% : 80%	1838	4.223	699.530	269.985.40	
	0% : 100%	2174	4.810	833.373	176.619.30	
Tidak Direndam	100% : 0%	321	0.274	31.191	532.754.00	
	80% : 20%	758	0.859	184.966	565.272.25	
	60% : 40%	1157	2.689	445.083	491.257.70	
	40% : 60%	1454	4.106	473.932	379.844.00	
	20% : 80%	1726	4.998	686.083	269.985.40	
	0% : 100%	1964	6.000	821.809	176.619.30	
Semen 300 kg/m <sup>3</sup>						
Direndam	100% : 0%	473	0.368	44.847	607.969.50	
	80% : 20%	907	2.558	121.161	610.773.00	
	60% : 40%	1274	4.869	296.300	514.519.50	
	40% : 60%	1628	5.952	637.762	410.593.50	
	20% : 80%	1845	9.785	998.230	290.655.00	
	0% : 100%	2170	13.928	1214.425	201.319.50	
Tidak Direndam	100% : 0%	404	0.284	41.496	607.969.50	
	80% : 20%	857	1.966	455.437	610.773.00	
	60% : 40%	1223	4.577	682.762	514.519.50	
	40% : 60%	1559	6.078	617.609	410.593.50	
	20% : 80%	1772	10.499	1162.325	290.655.00	
	0% : 100%	1985	15.454	2248.861	201.319.50	
Semen 350 kg/m <sup>3</sup>						
Direndam	100% : 0%	534	0.491	76.192	624.767.50	
	80% : 20%	927	2.310	256.109	638.605.00	
	60% : 40%	1274	3.997	689.121	528.655.00	
	40% : 60%	1624	6.466	1031.783	425.282.50	
	20% : 80%	1907	10.870	15750.911	325.107.50	
	0% : 100%	2214	17.902	22706.589	233.462.50	
Tidak Direndam	100% : 0%	461	0.525	97.850	624.767.50	
	80% : 20%	890	2.179	321.118	638.605.00	
	60% : 40%	1190	3.448	610.629	528.655.00	
	40% : 60%	1538	6.583	872.996	425.282.50	
	20% : 80%	1797	10.507	14270.577	325.107.50	
	0% : 100%	2057	17.385	17459.769	233.462.50	

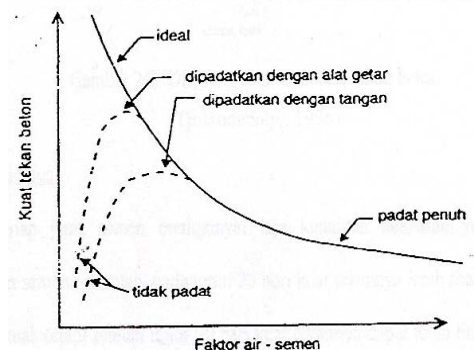
## B. Kuat tekan beton

Beton sebagai bahan bangunan diperoleh dengan mencampurkan semen portland, air dan agregat dengan perbandingan tertentu. Pencampuran dilakukan sampai warna adukan tampak rata, kelecakan yang cukup (tidak cair dan tidak padat) dan tampak campurannya juga homogen. Campuran tersebut jika dituang ke dalam cetakan kemudian dibiarkan maka akan mengeras seperti batuan. Pengerasan itu terjadi

karena adanya peristiwa reaksi antara air dan semen, yang berlangsung dalam waktu yang panjang dan akibatnya campuran itu selalu bertambah keras setara dengan umurnya. Di dalam adukan beton air dan semen membentuk pasta yang disebut pasta semen. Pasta tersebut selain mengisi pori-pori di antara butiran-butiran agregat halus juga sebagai perekat atau pengikat selama dalam proses pengerasan, sehingga butiran-butiran agregat saling terikat dengan kuat dan terbentuklah suatu massa yang kompak dan padat.

Dalam pembuatan campuran beton ada beberapa hal yang mempengaruhi kekuatan beton antara lain :

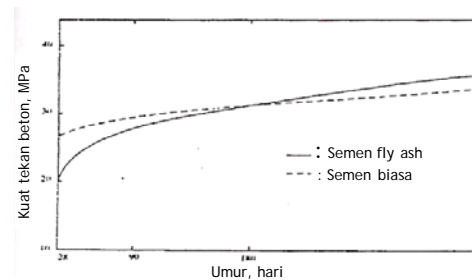
- a. **Faktor air semen (fas).** Faktor air semen adalah perbandingan antara berat air dengan berat semen. Semakin rendah nilai fas semakin tinggi kuat tekannya. Namun pada kenyataannya pada suatu nilai faktor air-semen tertentu, semakin rendah nilai fas, kuat tekan beton semakin rendah, karena dengan fas terlalu rendah adukan beton sulit dipadatkan. Dengan demikian ada nilai fas tertentu yang optimum yang menghasilkan kuat tekan beton maksimum, lihat Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan faktor air semen dengan kuat tekan beton (Tjokrodinuljo, 1996)[7]

- b. **Umur beton.** Kuat tekan beton bertambah sesuai dengan bertambahnya umur beton. Kecepatan bertambahnya kekuatan beton tersebut sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain fas dan suhu perawatan. Semakin tinggi fas semakin lambat kenaikan kekuatan betonnya dan semakin tinggi

suhu perawatan semakin cepat kenaikan kekuatan betonnya, lihat Gambar 2.



Gambar 2. Umur dan kuat tekan beton (Tjokrodinuljo, 1996)[7]

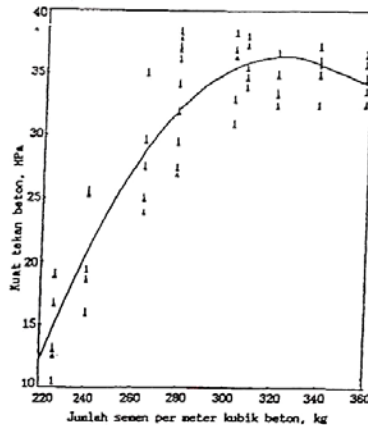
- c. **Jenis semen.** Setiap jenis semen mempunyai laju kenaikan kekuatan yang berbeda. Pemakaian semen *pozzolan*, pada umur 28 hari kuat tekannya lebih rendah dari pada beton normal, tetapi setelah umur 90 hari kuat tekannya dapat lebih tinggi, sehingga penggunaan atau pemilihan jenis semen tergantung pada fungsinya.

Semen portland dibagi menjadi 5 jenis, yaitu :

- |           |  |
|-----------|--|
| Jenis I   | Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.                                     |
| Jenis II  | Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.             |
| Jenis III | Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi. |
| Jenis IV  | Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.                            |
| Jenis V   | Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.                         |

- d. **Jumlah semen.** Jumlah kandungan semen berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Dalam kondisi fas yang sama beton dengan jumlah kandungan semen tertentu mempunyai nilai kuat tekan tertinggi. Bila jumlah semen yang

digunakan terlalu sedikit dan jumlah air yang digunakan juga sedikit maka adukan beton akan sulit dipadatkan karena kekurangan air, sehingga kuat tekannya rendah, jika jumlah semen yang digunakan berlebihan dan penggunaan air juga berlebihan maka beton akan terlalu encer sehingga akan menjadi berpori, akibatnya kuat tekan beton rendah, lihat Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh jumlah semen terhadap kuat tekan beton pada faktor air semen sama (Tjokrodimuljo, 1996)[7]

- e. **Sifat agregat.** Menurut Tjokrodimuljo (2004)[12], sifat agregat yang paling berpengaruh terhadap kekuatan beton adalah berat jenis, berat satuan, serapan air, gradasi butiran, keausan dan kekerasan.
- f. **Styrofoam.** *Styrofoam* termasuk dalam kategori polimer sintetik dengan berat molekul tinggi. Polimer sintetik berbahan baku monomer berbasis *etilena* serta berbagai turunannya yang berasal dari perengkahan minyak bumi. *Styrofoam* hanya sebuah nama dalam dunia perdagangan, nama yang sesungguhnya adalah *polystyrene* atau *poli (feniletena)* dalam bentuk *foam*. *Feniletena* atau *styrene* dapat dipolimerkan dengan menggunakan panas, sinar ultra violet atau katalis. *Poli(feniletena)* merupakan bahan termo plastik yang bening (kecuali jika ditambahkan pewarna atau pengisi), dan dapat dilunakkan pada suhu sekitar 100°C. *Poli (feniletena)* tahan terhadap asam, basa dan zat penguasa (korosi)

lainnya, tetapi mudah larut dalam hidrokarbon aromatik dan berklor. Dalam propanon (aseton) *poli (feniletena)* hanya mengembang. Penyinaran dalam waktu lama oleh sinar ultra-ungu, sinar putih atau panas, sedikit mempengaruhi kekuatan dan ketahanan polimer terhadap panas. *Poli (feniletena)* berbusa atau *styrofoam* diperoleh dari pemanasan *poli (feniletena)* yang menyerap hidrokarbon volatil. Ketika dipanasi oleh kukus (*steam*), butiran akan melunak, dan penguapan oleh hidrokarbon di dalam butiran akan menyebabkan butiran mengembang, (Crawford, R.J., 1998)[13]

- g. **Serbuk gergaji.** Serbuk gergaji berfungsi sebagai agregat halus yang akan mengisi pori-pori diantara butiran *styrofoam*. Serbuk gergaji yang digunakan terlebih dahulu diuji untuk mengetahui kebutuhan dalam per meter kubik beton. Pada saat pengujian berat satuan kondisi serbuk gergaji adalah jenuh kering muka (*Saturated Surface Dry*). Sebelum dilakukan pengadukan atau pencampuran bahan ada beberapa perlakuan yang dilakukan terhadap serbuk gergaji yaitu direndam selama 2 (dua) sampai dengan 3 (tiga) hari yang bertujuan untuk menghilangkan kadar gula dan mengeluarkan getah yang diharapkan akan diperoleh serbuk gergaji yang lebih awet dan mudah mengikat dengan semen Ismeddiyanto (1998)[14]. Selanjutnya serbuk diangin-anginkan sampai dengan kondisi jenuh kering muka (SSD).
- h. **Modulus elastis beton.** Modulus elastis adalah kemiringan kurva tegangan regangan beton pada kondisi linier. Menurut Wang dan Salmon (1986)[15] dari suatu kurva tegangan-regangan beton, dapat diperoleh modulus awal, modulus tangen (*tangen modulus*) dan modulus sekan (*secant modulus*) Modulus sekan yang ditentukan pada saat kuat tekan beton mencapai 25% - 50% dari kuat tekan beton maksimum biasanya disebut sebagai modulus elastisitas untuk bahan beton. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi modulus elastisitas beton

yaitu kelembaban beton, agregat dan modulus halus agregat (Neville and Brooks, 1987)[5].

Beberapa rumus empirik yang dapat digunakan untuk menentukan modulus elastisitas beton antara lain :

- a. SNI 03-2847-2002 memberikan persamaan untuk menghitung modulus elastisitas :

$$E_c = 0,043w_c^{1,5}\sqrt{f'_c} \quad (1)$$

dimana,

$w_c$  = Berat jenis beton ( $\text{kg/m}^3$ )

$f'_c$  = Kuat tekan beton (MPa)

$E_c$  = Modulus elastisitas beton (MPa)

Persamaan 1 hanya berlaku untuk beton dengan berat  $1500 \text{ kg/m}^3$  -  $2500 \text{ kg/m}^3$ , sedangkan bila berat beton  $\pm 2300 \text{ kg/m}^3$  maka digunakan persamaan berikut :

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \quad (2)$$

- b. Wang dan Salmon (1986)[15], dengan menentukan modulus sekan (*secant modulus*) dari kurva tegangan-regangan beton menggunakan rumus :

$$E_{ci} = \frac{f'_{ci}}{\epsilon_i} = E_c^2 \quad (3)$$

dimana :

$E_{ci}$  = modulus sekan beton tekan (MPa)

$f'_{ci}$  = kuat tekan beton

=  $f_2 = 0,5 f'_c$  MPa

$\epsilon_i$  =  $\epsilon$  regangan pada beton saat

tegangan beton mencapai  $f'_{ci}$

Wang dan Salmon (1986)[15] mengemukakan bahwa ada 3 metode yang biasa digunakan untuk mendapatkan modulus elastisitas dari diagram tegangan-regangan yaitu :

- a. Modulus awal

Nilai ini didapat dengan menarik garis singgung pada titik asal kurva tegangan-regangan. Nilai modulus awal adalah kemiringan garis singgung kurva tegangan-regangan pada titik asal.

- b. Modulus tangen

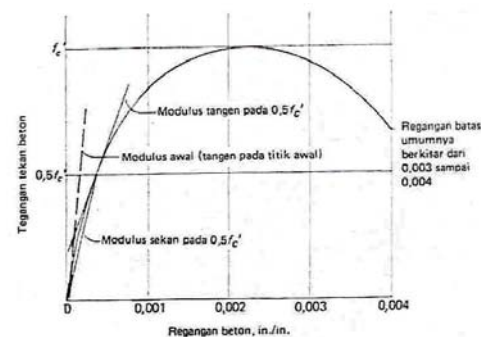
Modulus tangen didapat dengan membuat garis singgung kurva tegangan-regangan pada suatu titik

kurva. Kemiringan garis singgung ini dinamakan modulus tangen.

- c. Modulus sekan

Modulus sekan didapat dengan menarik garis lurus dari titik asal ke suatu titik pada kurva. Kemiringan garis itulah yang dinamakan modulus sekan.

Penjelasan tentang modulus awal, modulus tangen dan modulus sekan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Kurva tegangan-regangan untuk beton dalam tekan (Wang dan Salmon, 1986)[15]

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Bahan dan Benda Uji

Pada penelitian beton ringan campuran *styrofoam*, serbuk gergaji dan semen Portland ini digunakan bahan-bahan sebagai berikut :

1. Air yang digunakan sesuai persyaratan SNI 03-2847-2002.
2. Semen portland adalah semen portland jenis I produksi PT. SEMEN GRESIK.
3. *Styrofoam* berdiameter maksimum 7 mm produksi PT. GABUS PUTIH Jakarta.
4. Serbuk gergaji merupakan serbuk gergaji kayu jati.
5. Benda uji berupa silinder beton diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Jumlah sampel sebanyak 6 (enam) buah dari tiap variasi campuran, terdiri dari 3 (tiga) buah untuk direndam dan 3 (tiga) buah tidak direndam.

Tabel 4. Variasi dan jumlah benda uji

No.	Variasi Adukan	Kode Beton	Semen (kg/m <sup>3</sup> )	Air (liter)	Perbandingan Volume Bahan		Jlh Benda Uji Silinder Beton	
					Styrofoam	Serbuk Gergaji	Direndam (Buah)	Tidak Direndam (Buah)
1	I	S250-ST100-SG0	250		100%	0%	3	3
2	II	S250-ST80-SG20	250	Sesuai	80%	20%	3	3
3	III	S250-ST60-SG40	250	Uji	60%	40%	3	3
4	IV	S250-ST40-SG60	250	Sebar	40%	60%	3	3
5	V	S250-ST20-SG80	250		20%	80%	3	3
6	VI	S250-ST0-SG100	250		0%	100%	3	3
7	I	S300-ST100-SG0	300		100%	0%	3	3
8	II	S300-ST80-SG20	300	Sesuai	80%	20%	3	3
9	III	S300-ST60-SG40	300	Uji	60%	40%	3	3
10	IV	S300-ST40-SG60	300	Sebar	40%	60%	3	3
11	V	S300-ST20-SG80	300		20%	80%	3	3
12	VI	S300-ST0-SG100	300		0%	100%	3	3
13	I	S350-ST100-SG0	350		100%	0%	3	3
14	II	S350-ST80-SG20	350	Sesuai	80%	20%	3	3
15	III	S350-ST60-SG40	350	Uji	60%	40%	3	3
16	IV	S350-ST40-SG60	350	Sebar	40%	60%	3	3
17	V	S350-ST20-SG80	350		20%	80%	3	3
18	VI	S350-ST0-SG100	350		0%	100%	3	3
Jumlah benda uji (buah)							54	54
Jumlah total benda uji (buah)							108	

## B. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah timbangan, cetakan silinder beton, mesin pengaduk beton (*mixer*), literan, gelas ukur, meja sebar, bak perendaman, alat *capping*, mesin uji tekan beton, sendok semen/ sendok spesi, cetok, ember, kaliper/jangka sorong dan alat pendukung yang lainnya.

## C. Tahapan Penelitian

Tahapan yang dilakukan pada pelaksanaan penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan sebagai berikut :

1. Tahap persiapan
  - a. Penyiapan bahan dan pemeriksaan bahan
  - b. Pemeriksaan berat satuan *styrofoam* dan serbuk gergaji
2. Tahap perencanaan campuran adukan beton
  - a. Menghitung kebutuhan bahan dengan menggunakan tabel *mix design* awal
  - b. Menghitung volume total bahan yang dibutuhkan untuk pembuatan benda uji.
3. Tahap pelaksanaan
 

Persiapan cetakan beton, pencampuran bahan adukan beton, pemeriksaan nilai sebar adukan beton, pembuatan silinder beton, perawatan, penimbangan dan perendaman benda uji dan pengujian kuat tekan.

## D. Analisis Hasil

1. Berat beton dihitung dengan rumus:

$$B_j = \frac{W}{\frac{\pi}{4} d^2 H} \quad (4)$$

dimana,

$W$  = berat silinder beton, *kg*

$d$  = diameter silinder beton, *m*.

$H$  = tinggi silinder beton, *m*.

2. Kuat tekan silinder beton dengan rumus:

$$f_c' = \frac{P}{\frac{\pi}{4} d^2} \quad (5)$$

dimana,

$f_c'$  = kuat tekan silinder beton, *MPa*.

$P$  = beban maksimum, *N*

$d$  = diameter silinder beton, *mm*

3. Modulus elastisitas silinder beton dihitung dengan menggunakan modulus sekan (*secant modulus*) dari kurva tegangan-regangan beton dengan rumus:

$$E_{ci} = \frac{f'_{ci}}{\epsilon_i} = E_{c2} \quad (6)$$

dimana,

$E_{ci}$  = Modulus sekan beton tekan, *MPa*

$f'_{ci}$  = Kuat tekan beton

=  $f_2 = 0,500 f'_{ci}$ , *MPa*.

$\epsilon_i$  = Regangan pada beton saat tegangan beton mencapai  $f'_{ci}$ .

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Bahan Penyusun Beton Ringan

Bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan benda uji pada penelitian ini adalah:

1. Semen *portland* tipe I, berdasarkan hasil pengamatan secara visual menunjukkan bahwa, semen yang dipakai masih dalam kondisi baik.
2. *Styrofoam*, berdasarkan hasil pemeriksaan memiliki berat satuan 15.243 kg/m<sup>3</sup> dengan diameter beragam antara 2-7 mm.
3. Serbuk gergaji (kayu jati) memiliki berat satuan 283,794 kg/m<sup>3</sup> dengan modulus halus butir (mhb) yaitu 1,94, kondisi serbuk gergaji adalah *SSD* (jenuh kering muka).
4. Air memenuhi persyaratan.

**B. Perhitungan Kebutuhan Bahan**

Kebutuhan bahan sehubungan dengan pembuatan benda uji sebagaimana pada tabel 4 diatas dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. Jumlah kebutuhan bahan

No.	Kode	Fas	Semen (kg)	Air (kg)	Syrofoam (kg)	Serbuk (kg)	Jumlah (kg)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	S250-ST100-SG0	0.400	250.480	100.192	19.090	0.000	369.762
2	S250-ST80-SG20	0.575	221.751	127.507	14.602	67.966	431.826
3	S250-ST60-SG40	0.775	271.421	210.352	14.398	178.704	674.874
4	S250-ST40-SG60	1.075	269.298	289.495	9.523	265.959	834.275
5	S250-ST20-SG80	1.100	296.771	326.449	4.886	363.840	991.946
6	S250-ST0-SG100	1.450	277.959	403.040	0.000	520.628	1201.627
7	S300-ST100-SG0	0.400	344.309	137.724	21.869	0.000	503.901
8	S300-ST80-SG20	0.525	314.150	164.929	17.238	80.238	576.555
9	S300-ST60-SG40	0.725	311.279	225.678	13.997	173.733	724.687
10	S300-ST40-SG60	0.950	304.430	289.208	8.971	250.547	853.156
11	S300-ST20-SG80	1.000	312.095	312.095	4.710	350.740	979.640
12	S300-ST0-SG100	1.050	347.040	364.392	0.000	492.439	1203.872
13	S350-ST100-SG0	0.400	313.310	125.324	17.057	0.000	455.691
14	S350-ST80-SG20	0.475	378.177	179.635	17.787	82.793	658.391
15	S350-ST60-SG40	0.675	351.680	237.384	13.555	168.241	770.860
16	S350-ST40-SG60	0.875	347.013	303.636	8.464	236.353	895.466
17	S350-ST20-SG80	0.850	354.150	301.028	4.580	341.145	1000.903
18	S350-ST0-SG100	0.875	398.106	348.343	0.000	468.060	1214.510

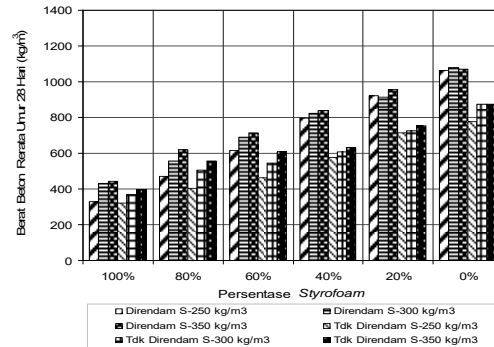
**C. Berat Beton****1. Berat beton rerata umur 1 dan 28 hari**

Berat beton yang diperiksa pada penelitian ini dibedakan menjadi berat beton kondisi direndam dan berat beton tidak direndam. Berat satuan beton merupakan perbandingan berat beton dengan volume beton tersebut.

Berdasarkan hasil perhitungan berat beton dapat dilihat adanya perbedaan berat beton terhadap berbagai variasi campuran yang dibuat. Semakin banyak serbuk gergaji yang digunakan maka semakin besar berat betonnya.

Tabel 6. Hasil pemeriksaan berat satuan beton

No.	Variasi Adukan	Kode Beton	Perbandingan Volume Bahan		Berat Beton Rerata (kg/m <sup>3</sup> )		
			Syrofoam	Serbuk Gergaji	Umur 1 hari	Umur 28 hari	
						Direndam	Tidak Direndam
1	I	S250-ST100-SG0	100%	0%	353.329	330.385	322.751
2	II	S250-ST80-SG20	80%	20%	413.450	470.637	405.389
3	III	S250-ST60-SG40	60%	40%	635.751	614.119	462.394
4	IV	S250-ST40-SG60	40%	60%	794.069	797.921	578.277
5	V	S250-ST20-SG80	20%	80%	901.419	921.674	711.968
6	VI	S250-ST0-SG100	0%	100%	1084.444	1061.855	778.107
7	I	S300-ST100-SG0	100%	0%	464.380	430.211	367.374
8	II	S300-ST80-SG20	80%	20%	519.845	557.160	506.746
9	III	S300-ST60-SG40	60%	40%	687.041	690.792	544.251
10	IV	S300-ST40-SG60	40%	60%	766.882	822.863	606.782
11	V	S300-ST20-SG80	20%	80%	905.924	912.785	725.290
12	VI	S300-ST0-SG100	0%	100%	1134.226	1077.824	872.760
13	I	S350-ST100-SG0	100%	0%	421.299	441.679	396.597
14	II	S350-ST80-SG20	80%	20%	602.752	619.014	557.818
15	III	S350-ST60-SG40	60%	40%	733.710	714.290	606.638
16	IV	S350-ST40-SG60	40%	60%	797.063	838.749	632.044
17	V	S350-ST20-SG80	20%	80%	957.299	958.046	751.780
18	VI	S350-ST0-SG100	0%	100%	1110.109	1069.646	874.763



Gambar 5. Grafik hubungan variasi campuran dengan berat beton rerata pada umur 28 hari

**2. Penggolongan beton ringan berdasarkan berat beton.**

Jika berpedoman pada SNI 03-2847-2002[2], maka sebagian besar berat beton ringan pada penelitian ini termasuk golongan struktur ringan sebagai isolator, penggolongan Dobrowolski (1998)[4] termasuk beton dengan berat jenis rendah, penggolongan Neville and Brooks (1987)[5] termasuk beton ringan penahan panas dan menurut Satyarno (2004)[1] termasuk golongan beton non struktur.

**D. Kuat Tekan Beton****1. Hasil pengujian kuat tekan beton**

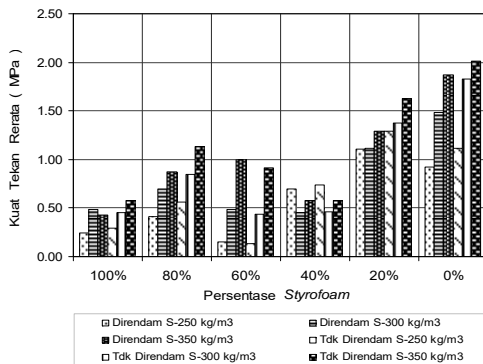
Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada saat beton mencapai umur 28 hari. Pengujian dilakukan terhadap seluruh benda uji yang berjumlah 108 buah benda uji yang terdiri dari 18 variasi direndam (D) dan 18 variasi yang tidak direndam (TD). Setiap variasi terdiri dari 3 buah benda uji. Pada penelitian ini pengujian dilakukan beberapa tahap sesuai dengan waktu pembuatan benda uji. Sebelum pengujian seluruh benda uji terlebih dahulu *dicapping* untuk mendapatkan permukaan tekan yang rata.



Tabel 7. Hasil pengujian kuat tekan rerata

No.	Variasi Adukan	Kode Beton	Nilai fas	Perbandingan Volume Bahan		Kuat Tekan Rerata (MPa)	
				Styrofoam	Serbuk Gergaji	Direndam	Tidak Direndam
1	I	S250-ST100-SG0	0.400	100%	0%	0.24	0.29
2	II	S250-ST80-SG20	0.575	80%	20%	0.41	0.56
3	III	S250-ST60-SG40	0.775	60%	40%	0.15	0.13
4	IV	S250-ST40-SG60	1.075	40%	60%	0.70	0.74
5	V	S250-ST20-SG80	1.100	20%	80%	1.11	1.29
6	VI	S250-ST0-SG100	1.450	0%	100%	0.92	1.12
7	I	S300-ST100-SG0	0.400	100%	0%	0.49	0.45
8	II	S300-ST80-SG20	0.525	80%	20%	0.70	0.85
9	III	S300-ST60-SG40	0.725	60%	40%	0.49	0.44
10	IV	S300-ST40-SG60	0.950	40%	60%	0.45	0.46
11	V	S300-ST20-SG80	1.000	20%	80%	1.11	1.38
12	VI	S300-ST0-SG100	1.050	0%	100%	1.48	1.83
13	I	S350-ST100-SG0	0.400	100%	0%	0.43	0.58
14	II	S350-ST80-SG20	0.475	80%	20%	0.87	1.13
15	III	S350-ST60-SG40	0.675	60%	40%	1.00	0.92
16	IV	S350-ST40-SG60	0.875	40%	60%	0.58	0.58
17	V	S350-ST20-SG80	0.850	20%	80%	1.29	1.63
18	VI	S350-ST0-SG100	0.875	0%	100%	1.87	2.01

Berdasarkan Tabel 7 diatas, terlihat kuat tekan rerata beton semakin besar seiring dengan berkurangnya persentase jumlah penggunaan *styrofoam* baik yang direndam maupun yang tidak direndam, hal ini menunjukkan bahwa semakin besar penggunaan serbuk gergaji maka nilai kuat tekannya menjadi lebih besar. Kuat tekan rerata beton tertinggi dicapai oleh beton dengan kandungan *styrofoam* 20% dan 0% atau pada kandungan serbuk gergaji sebesar 80% dan 100%. Secara rerata beton dengan kondisi tidak direndam mempunyai kuat tekan yang lebih baik dari pada beton dengan kondisi direndam. Hal ini karena serbuk kayu gergajian mempunyai kelemahan akibat tingginya serapan air. Apabila kadar airnya besar kekuatan beton menurun.



Gambar 6. Grafik hubungan berbagai variasi campuran dengan kuat tekan beton umur 28 hari

- Penggolongan beton ringan berdasarkan kuat tekan beton.

Berdasarkan SNI 03-2847-2002[2] maka kuat tekan beton ringan ini termasuk

kriteria struktur sangat ringan sebagai isolator, penggolongan Dobrowolski (1998)[4] termasuk untuk kriteria beton dengan berat jenis rendah, penggolongan Neville and Brooks (1987)[5] termasuk untuk kriteria beton ringan penahan panas dan menurut Satyarso (2004)[1] termasuk untuk kriteria beton non struktur.

## E. Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas beton diperoleh dengan menggunakan modulus sekan (*secant modulus*) dari kurva tegangan-regangan beton dengan Persamaan 6. Setiap variasi adukan diambil masing-masing 1 sampel benda uji silinder.

Tabel 8. Modulus sekan beton ringan berdasarkan perbandingan campuran *styrofoam*, serbuk gergaji dan kandungan semen.

No	Kode Beton	Berat Beton (kg/m <sup>3</sup> )	$f'_c$ maks (MPa)	$0.5x f'_c$ (Mpa)	$\epsilon$ Sekan	E Sekan (MPa)
1	2	3	4	5	6	7
1	S250-ST100-SG0-D (A)	306.287	0.22	0.11	0.00176	62.70
2	S250-ST80-SG20-D (A)	447.300	0.34	0.17	0.00347	49.47
3	S250-ST60-SG40-D (A)	601.996	0.14	0.07	0.00342	20.63
4	S250-ST40-SG60-D (A)	834.249	0.75	0.37	0.00299	125.41
5	S250-ST20-SG80-D (A)	916.537	0.96	0.48	0.00286	168.24
6	S250-ST0-SG100-D (A)	1041.055	0.70	0.35	0.00289	120.54
7	S300-ST100-SG0-D (A)	500.089	0.57	0.28	0.00258	109.72
8	S300-ST80-SG20-D (A)	550.762	0.73	0.37	0.00330	111.25
9	S300-ST60-SG40-D (A)	694.890	0.52	0.26	0.00477	55.00
10	S300-ST40-SG60-D (A)	792.234	0.31	0.16	0.00117	133.60
11	S300-ST20-SG80-D (A)	908.326	1.15	0.58	0.00303	189.91
12	S300-ST0-SG100-D (A)	1088.021	1.54	0.77	0.00354	217.63
13	S350-ST100-SG0-D (A)	414.939	0.38	0.19	0.00662	28.60
14	S350-ST80-SG20-D (A)	628.075	0.82	0.41	0.00347	118.13
15	S350-ST60-SG40-D (A)	698.583	0.92	0.46	0.00201	229.85
16	S350-ST40-SG60-D (A)	847.911	0.71	0.35	0.00363	97.19
17	S350-ST20-SG80-D (A)	971.701	1.42	0.71	0.00205	345.93
18	S350-ST0-SG100-D (A)	1078.573	1.81	0.90	0.00327	276.17
19	S250-ST100-SG0-TD (A)	384.576	0.38	0.19	0.00329	57.12
20	S250-ST80-SG20-TD (A)	387.577	0.48	0.24	0.00215	112.02
21	S250-ST60-SG40-TD (A)	458.844	0.12	0.06	0.00364	16.61
22	S250-ST40-SG60-TD (A)	553.844	0.65	0.32	0.00229	141.36
23	S250-ST20-SG80-TD (C)	732.864	1.47	0.73	0.00427	172.05
24	S250-ST0-SG100-TD (A)	778.853	1.04	0.52	0.00480	107.98
25	S300-ST100-SG0-TD (A)	422.752	0.50	0.25	0.00191	130.08
26	S300-ST80-SG20-TD (A)	471.115	0.61	0.31	0.00147	208.08
27	S300-ST60-SG40-TD (A)	558.994	0.34	0.17	0.00255	66.19
28	S300-ST40-SG60-TD (A)	592.177	0.46	0.23	0.00207	110.24
29	S300-ST20-SG80-TD (A)	709.533	1.38	0.69	0.00266	259.00
30	S300-ST0-SG100-TD (A)	865.233	1.78	0.89	0.00352	252.93
31	S350-ST100-SG0-TD (A)	436.216	0.73	0.36	0.00500	72.92
32	S350-ST80-SG20-TD (A)	566.254	1.06	0.53	0.00214	247.43
33	S350-ST60-SG40-TD (A)	635.313	0.86	0.43	0.00175	245.41
34	S350-ST40-SG60-TD (A)	611.057	0.47	0.23	0.00077	303.25
35	S350-ST20-SG80-TD (A)	744.617	1.58	0.79	0.00341	231.76
36	S350-ST0-SG100-TD (A)	848.600	1.90	0.95	0.00323	294.41

D = Direndam, TD = Tidak Direndam, (A) = Benda uji sebagai sampel

## 5. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Berat satuan *styrofoam* yang digunakan adalah 15.243 kg/m<sup>3</sup> dengan diameter beragam antara 2-7 mm. Berat satuan serbuk gergaji kayu jati adalah 283,794 kg/m<sup>3</sup> kondisi jenuh kering muka (SSD) dengan modulus halus butir (mhb) yaitu 1,94.

2. Besarnya nilai faktor air semen (fas) sesuai dengan tingkat kelecakan yang mencukupi didapati bahwa makin besar persentase penggunaan serbuk gergaji maka nilai fas juga bertambah besar. Untuk fas minimum digunakan sebesar 0,40 sedangkan untuk fas maksimum yang digunakan sebesar 1,45.
  3. Berat beton semakin bertambah seiring dengan semakin banyaknya persentase serbuk gergaji yang digunakan. Berdasarkan berat betonnya, menurut SNI 03-3449-1994 sampel beton termasuk golongan struktur ringan sebagai isolator, sedangkan menurut Dobrowolski (1998)[4] termasuk beton dengan berat jenis rendah, Neville and Brooks (1987)[5] termasuk beton ringan penahan panas dan menurut Satyarno (2004)[1] termasuk beton non struktur.
  4. Kuat tekan rerata beton semakin besar seiring dengan semakin besar penggunaan serbuk gergaji baik yang direndam maupun tidak direndam. Kuat tekan rerata beton tertinggi dicapai oleh beton dengan kandungan *styrofoam* 20% dan 0%, berturut-turut sebesar 1,15 dan 1,54 MPa.
  5. Nilai modulus elastisitas lebih besar ada pada variasi adukan yang persentase penggunaan serbuk gergaji lebih banyak dari *styrofoam*, bisa mencapai 0,00662.
- 03-3449-1994, DPU Yayasan LPMB, Bandung.
- [4] Dobrowolski, A.J., 1998, *Concrete Construction Hand Book*, The Mc. Graw Hill Companies, Inc., New York.
  - [5] Neville, A.M. and Brooks, J.J., 1987, *Concrete Technology*, John Willey & Sons, New York.
  - [6] Raju, K.N., 1983, *Design of Concrete Mixes*, CBS Publishers & Distributors, 485, Jain Bhawan, Bhola Nath Nagar Shandra, Delhi-110032 (India).
  - [7] Tjokrodinuljo, K., 1996, *Teknologi Beton*, Nafiri, Yogyakarta.
  - [8] Sambodo, A.I., 2003, *Penggunaan Styrofoam untuk Beton Ringan Dengan Kandungan Semen 350 kg/m<sup>3</sup>*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
  - [9] Wijaya, S.N., 2005, *Efek Perendaman Beton Styrofoam Ringan dengan Semen Portland Abu-Abu 250 kg/m<sup>3</sup>*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
  - [10] Sabbihyah, 2005, *Efek Perendaman Beton Styrofoam Ringan Dengan Semen Portland Tipe I 300 kg/m<sup>3</sup>*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
  - [11] Fatkhurohman., 2005, *Efek Perendaman Beton Styrofoam Ringan Dengan Semen Portland Abu-Abu 350 kg/m<sup>3</sup>*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
  - [12] Tjokrodinuljo, K., 2004, *Teknologi Beton*, Buku Ajar, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
  - [13] Crawford, R.J., 1998, *Plastic Engineering*, Third Edition, John Willey & Sons, New York.
  - [14] Ismeddiyanto, 1998, *Penelitian Pemanfaatan Serbuk Gergaji Kayu Jati (Tectona Gandis L. F.) Untuk Bata Beton*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
  - [15] Wang, C.K. dan Salmon C.G., 1986, *Perencanaan Beton Bertulang*, Edisi keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Satyarno, I., 2004, *Seminar Nasional Inovasi Teknologi Bahan Bangunan untuk Meningkatkan PAD dan Beberapa Kemajuan untuk Menyelesaikan Permasalahan Bidang Teknik Sipil*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [2] Departemen Pekerjaan Umum, 2002, *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, SNI 03-2847-2002, Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Dept. PU, Bandung.
- [3] Departemen Pekerjaan Umum, 1994, *Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam)*, SNI